



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

## BADMINTONOVÉ RAKETY

BADMINTON RACKETS

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Kuriál

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Eva Molliková, Ph.D., Paed IGIP

BRNO 2017



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav materiálových věd a inženýrství  
Student: **Jakub Kuriál**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Eva Mollíková, Ph.D., Paed IGIP**  
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Badmintonové rakety

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce pojedná rešeršní formou o materiálech používaných na výrobu badmintonových raket a jejich výpletů.

### Cíle bakalářské práce:

Student ve své práci:

- shrne historický vývoj konstrukce badmintonových raket a materiálů používaných pro jejich výrobu
- stručně popíše možné aplikace současných technických materiálů pro výrobu raket a jejich výpletů
- rozebere požadavky, které jsou přitom na technické materiály kladeny

### Seznam doporučené literatury:

Askeland, D. R., Phulé, P. P. The Science and Engineering of Materials. 5th ed. UK: Thomson, 2006. ISBN 0-534-55396-6.

Callister, W. D. Material Science and Engineering, An Introduction. GB: John Willey and Sons, 2003. ISBN: 0-471-22471-5.

Seymour, R. B. Polymers for Engineering Applications. USA: ASTM, 1987. ISBN 0-87170-247-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Ivo Dlouhý, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty



## Abstrakt

Tato práce se zabývá rozbořem materiálů používaných při výrobě sportovního vybavení pro badminton. Popisuje evoluci v použitých materiálech v kontextu historického vývoje systému hry. Uvádí do souvislosti herní principy a požadavky na technické vlastnosti herního náčiní. Práce rozebírá především materiálové vlastnosti jednotlivých částí badmintonové rakety, tedy rámu, výpletu či omotávky, avšak zmiňuje také herní nároky na míček či povrch hrací plochy. V závěru práce je pomocí získaných poznatků načrtnut očekávaný vývoj v tomto odvětví. Jako pravděpodobný směr se jeví oblast nanotechnologií. Význam této práce spočívá v kompletním pojednání o doposud nezpracovaném, avšak velmi aktuálním tématu z oblasti materiálových věd.

## Klíčová slova

Badmintonová raketa, materiál, mechanické vlastnosti, karbonová vlákna, pevnost

## Abstract

The fundamental topic of this thesis is the analysis of materials used in the production of sports equipment for badminton. The thesis describes the evolution of materials used in the context of the historical development of the game system. The thesis explains the game principles and the requirements for the technical characteristics of the gaming equipment. The thesis deals primarily with material properties of individual parts of the badminton racket (frame, string bed, wrap) but it also mentions the demands on the ball or the playing surface. In the final section of the thesis the expected development in the sports industry using the acquired knowledge is described. The most likely direction seems to be the area of nanotechnology. The importance of this work lies in the complete discussion of a topic in the field of material sciences which has not been composed yet.

## Key Words

Badminton racket, materiál, mechanical properties, carbon fiber, strenght

## Bibliografická citace

KURIÁL, J. *Badmintonové rakety*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojího inženýrství, 2017. 40 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Eva Molliková, Ph.D., Paed IGIP.

## Prohlášení

Prohlašuji, že bakalářskou práci na téma „Badmintonové rakety“ jsem vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 26. 5. 2017

.....  
Jakub Kuriál



## Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucí své bakalářské práce Ing. Evě Mollikové, Ph.D., Paed IGIP za umožnění zpracovat mnou zvolené téma a cenné rady.

# Obsah

Úvod .....	15
1 Historie hry.....	16
2 Charakteristika hry.....	18
2.1 Raketa.....	18
2.2 Míček.....	20
3 Materiály rámu rakety .....	21
3.1 Dřevo.....	21
3.2 Hliník .....	23
3.3 Uhlík .....	25
3.3.1 Karbonová vlákna .....	25
3.3.2 Kompozit.....	25
3.3.3 Grafen.....	26
4 Materiály výpletu rakety .....	28
4.1 Charakteristika .....	28
4.2 Organický výplet.....	30
4.3 Monofilamenty.....	31
4.4 Multifilament.....	31
4.5 Syntetické materiály .....	32
4.5.1 Nylon.....	32
4.5.2 Polyester.....	32
4.5.3 Kevlar.....	32
5 Ostatní materiály.....	34
5.1 Omotávka.....	34
5.2 Míček .....	34
5.3 Povrch kurtu.....	34
6 Očekávaný vývoj.....	36
7 Závěr.....	37
Seznam použité literatury .....	38

## Úvod

S narůstající popularitou raketových sportů se mezi vrcholové sporty zařadil také badminton. Tato skutečnost s sebou nese růst komercializace a vlivu sponzoringu. Sportovní reprezentace také získává nemalý politicko-společenský význam spojený s další popularizací tohoto odvětví. Sport se mění ve výnosný byznys a badminton se tak stává čím dál více závislým nejen na schopnostech hráče, ale také na kvalitě jeho sportovního vybavení. Kvalitnější sportovní náčiní může zejména pro profesionálního sportovce znamenat velkou konkurenční výhodu. Nároky hráčů nejen na kvalitu, ale i životnost rakety rychle stoupají a firmy zabývající se vývojem sportovního náčiní jsou nuceny držet s nimi tempo. Z tohoto důvodu se největší výrobci badmintonových raket zabývají nejen testováním mechanických atributů materiálů, tedy pružnost či pevnost, ale také výzkumem mikroskopických vlastností látek. S pokračujícím rozvojem materiálových věd lze tedy očekávat další vývoj kvalitnějších badmintonových raket, které se svými vlastnostmi mohou velmi lišit nejen historickým, ale i dnešním modelům.

# 1 Historie hry

Badminton se do dnešní podoby vyvíjel dlouhá tisíciletí. V pátém století před naším letopočtem se v Číně objevila hra s názvem „ti jian zi“, doslovně přeloženo jako „kopnout do míčku“. Podstatou bylo zabránit míčku v dotyku se zemí bez použití rukou. Ačkoliv princip hry se badmintonu podobal jen vzdáleně, jednalo se o první sport, při které bylo použito míčků podobného tvaru jako dnes.

Asi o pět set let později se v Číně, Řecku, Japonsku a Indii začal provozovat sport s názvem „Battledore and Shuttlecock“, který spočíval v odpalování míčku tam a zpět pomocí předmětů připomínajících krátká pádla nebo malé rakety.

V šestnáctém století se tento sport stal velmi populárním mezi dětmi v Anglii, kdy se skupina hráčů snažila udržet míček co nejdéle ve vzduchu. Šlo tedy o vzájemnou pomoc mezi hráči, kteří nehráli proti sobě, ale v týmu. Původně se tato zábava provozovala bez sítě.

V osmnáctém století se v Indii pod názvem „Poona“ tato hra opět rozmohla. V šedesátých letech devatenáctého století sport od Indů převzali důstojníci britské armády působící v Indii, kteří hru nejen zrychlili, ale také pozměnili v soutěž. Nápad i vybavení si odvezli do Anglie.

Poona byla na ostrovech poprvé slavnostně představena při zahradní slavnosti v panství, nesoucím název Badminton. Hra se stala velmi populární mezi britskou šlechtou a v roce 1877 vznikl první spolek s názvem „the Bath Badminton Club“, který později vydal ucelený soubor pravidel. Hra byla provozována venku i v budovách. Hřiště mělo původně tvar přesýpacích hodin, protože sport byl původně navrhnut pro viktoriánské salonky, velké místnosti, kde se na obou stranách otevíraly dveře směrem dovnitř. Poté se přistoupilo k mnohem běžnějšímu, obdélníkovému tvaru, který známe dnes [1].

Koncem devatenáctého století došlo v Anglii k velkému rozmachu badmintonových klubů. V roce 1893 už existovalo 14 spolků, které se připojily k badmintonové asociaci. Kluby byly hlavním tvůrcem pravidel tohoto sportu a zasloužily se o vznik vůbec první a ve své době nejprestižnější soutěže „the All-England Badminton Championships“, neboli celonárodního anglického šampionátu [2][3].



*Obrázek 1.3 – Dřevěné badmintonové rakety z počátku 20. století [4]*

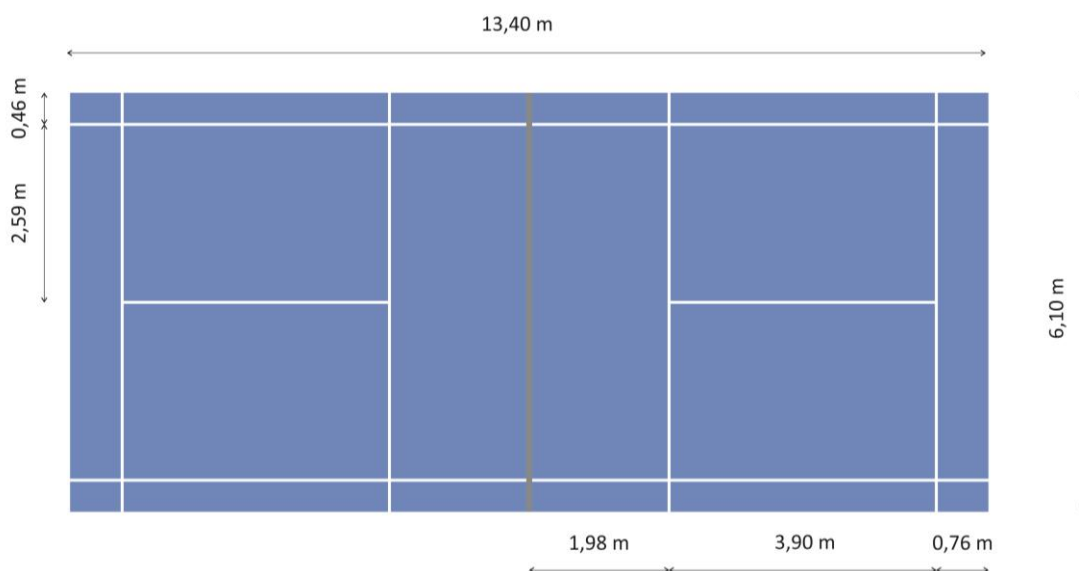
S nárůstem počtu zemí, ve kterých se badminton hrál, přibývala potřeba mezinárodního vedení. Mezinárodní badmintonová federace IBF vznikla v roce 1934 s devíti zakládajícími členskými zeměmi. Sídlo federace, do které je v současné době zařazeno přes 150 zemí, se nacházelo v Anglii ve městě Kent. V roce 2006 se zázemí federace přestěhovalo do Malajsie [3][1].

První oficiální velký turnaj pořádaný asociací se konal v roce 1948 a jednalo se o šampionát mužů soutěžících v týmech. V roce 1966 uvedli Britové badminton na Commonwealth Games, kde se od tohoto roku vyskytuje pravidelně. Na olympiádě v Mnichově roku 1972 byl badminton zařazen jako demonstrační sport. Jednalo se o disciplíny, které nebyly oficiální náplní olympiád, ale právě tyto velké události byly použity pro propagaci méně známých nebo rozvíjejících se sportů. Olympijským sportem se badminton stal v roce 1992 v Barceloně. Do programu byly zařazeny dvouhry i čtyřhry mužů i žen. O čtyři roky později v Atlantě přibyla disciplína smíšených čtyřher. Jedná se o jediný olympijský sport, ve kterém soutěží smíšené páry ve čtyřhrách [2][3].

## 2 Charakteristika hry

Badminton je olympijský raketový sport hraný na kurtu v zastřešených sportovních halách. Cílem hráče je pomocí rakety umístit míč přes síť do vymezeného prostoru kurtu tak, aby jej soupeř nedokázal zasáhnout a odpálit zpět. Odpálení míčku do prostoru vlastní poloviny hrací plochy nebo mimo vymezený obdélník na straně soupeře se považuje za chybný úder. Z tohoto důvodu je nutné, aby hráč byl schopen míč odpálit velice rychle a přesně. Na hrací raketu jsou proto kladeny vysoké nároky, především na dostatečnou pevnost a pružnost. Raketa musí být lehká, aby uživateli nebránila v plynulém a rychlém pohybu jak celého těla, tak zápěstí a paže, ve které raketu svírá. Materiál rakety přitom musí být dostatečně odolný, aby nedošlo k jeho kroucení či lámání.

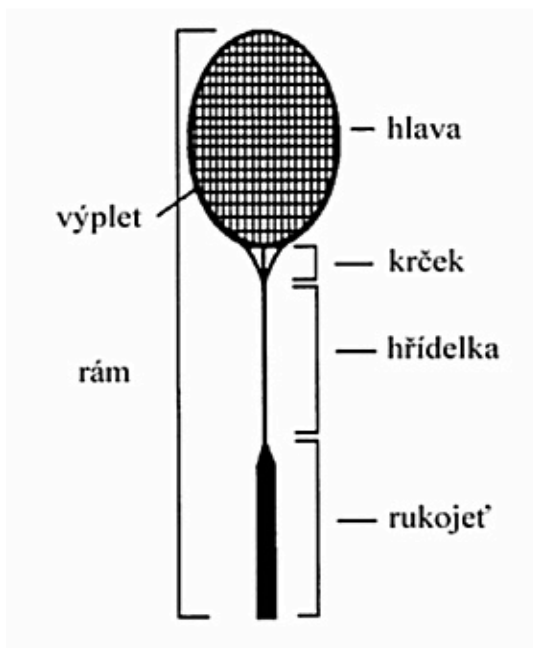
Herní dvorec má rozměry 13,4 m × 6,1 m, avšak okamžitá velikost herní plochy se liší dle typu a průběhu hry. Při čtyřhře je využívána celá plocha kurtu, pouze podání je omezeno na obdélník 3,90 × 2,59 metru, viz obrázek 2.1. Při dvouhře je hrací plocha zmenšena o boční okraje a při podání je navíc ochuzena o přední pás šířky 1,98 metru. Kurt je v polovině rozdělen sítí vysokou 1,55 metru vedenou přes celou jeho šířku.



Obrázek 2.1 – Herní dvorec

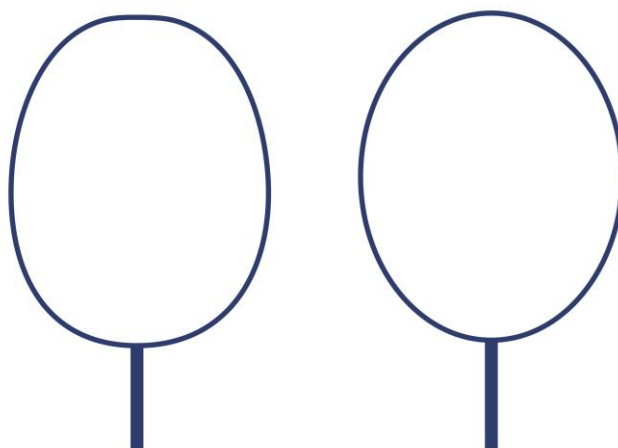
### 2.1 Raketa

Badmintonová raketa se skládá z výpletu a rámu, který je složen z rukojeti, hřidelky, hlavy a krčku. Hlava rakety slouží k držení strun výpletu. Její rozměry nesmějí přesáhnout 280 mm na výšku a 220 mm na šířku, celá výška rakety pak nesmí přesáhnout 680 mm.



Obr. 2.2 Popis částí rakety [5]

Původním tvarem hlavy byl ovál, ale dnes se mnoho raket vyrábí s tvarem Isometric, patentovaným firmou YONEX. Změna tvaru hlavy ovlivňuje technické parametry rakety, proto jsou používány tvary podle herního zaměření uživatele. Rakety s tvarem Isometric hlavy, rozšiřují místo ideálního odpalu "sweet spot" a zvyšuje se tak rychlost odpalu. Po obvodu hlavy jsou rozmístěny díry, které slouží k uchycení strun.



Obrázek 2.3 – Srovnání tvaru hlavy rakety

Isometric – vlevo, ovál – vpravo

Vlastnosti každého raketového rámu se dají popsat určitými charakteristikami. Jednou z hlavních charakteristik rakety je balanc. Rakety se mohou dělit podle polohy jejich těžiště. Vyvážení k hlavě dodá hráčům dodatečnou sílu odpalu, je tedy vhodné spíše pro hru útočného typu. Těžiště blíže k rukojeti naopak umožňuje přesněji kontrolovat míček a vyhovuje lépe technickému pojetí hry.

Rakety se také dělí podle tuhosti, přičemž pružnější hřídelky nedosahují rychlosti odpalu tuhých rámu. Pružné hřídelky je možné prohnout při nižších rychlostech švih hráče. Při nedostatečné rychlosti švih tuhou raketu nedojde k průhybu hřídelky, což vede k nižším rychlostem odpalu.

## 2.2 Míček

Badmintonové míčky se dělí na syntetické a organické, viz obrázek 2.3. Míčky používané pro závodní účely jsou vyrobeny z šestnácti husích brk připevněných ke korkové hlavičce. Všechna pera jsou stejně dlouhá a měla by měřit 62 až 70 milimetrů. Váha míčku se pohybuje mezi 4,74 a 5,5 gramy. Vedle opeřených míčků existují také napodobeniny v podobě projektilů plastových, které se vyrábí ve většině případů z nylonu. Jejich výdrž je výrazně delší, ale letové vlastnosti zdaleka nedosahují parametrů míčků vyrobených z peří.

Míčky se dělí dle rychlosti. Rychlejší typy se doporučují méně zkušeným hráčům. Rychlost odpáleného projektilu vzrůstá také s rostoucí teplotou a nadmořskou výškou.



Obrázek 2.3 – Srovnání míčku organického a syntetického typu [6][7]



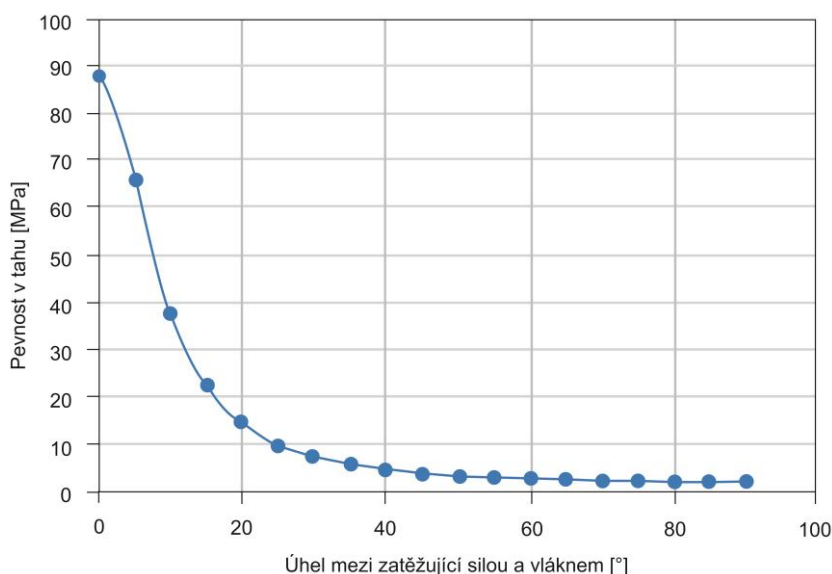
## 3 Materiály rámu rakety

Původním materiálem používaným pro výrobu rámu raket bylo dřevo. Špatně se však v minulosti opracovávalo, je těžké a svými vlastnostmi neodpovídá ideálním parametrům, kterých se výrobci raket snažili dosáhnout. Dřevo také, v důsledku svého organického původu, disponuje spoustou vad, jako jsou například suky.

S postupem času se začaly používat konstrukce z lehkých ocelí nebo hliníku. Vytvoření karbonových vláken v padesátých letech dvacátého století, znamenalo revoluci pro všechny raketové sporty. Uhlíková vlákna poskytují pružnost i pevnost při velice nízké hmotnosti.

### 3.1 Dřevo

Jedná se o přírodní organický materiál, který je všestranně využíván v mnoha odvětvích. Po fyzické stránce je dřevo materiálem tuhým a pevným, ale ve srovnání s ocelí je zároveň lehký a flexibilní. Na rozdíl od kovů, plastů a keramiky, nemá dřevo jednotnou strukturu, tudíž je anizotropní a nechová se tedy ve všech směrech stejným způsobem. Jednou z jeho charakteristik je různost mechanických vlastností nejen jednotlivých druhů, ale i kusů dřeva. Vlastnosti dřeva se také liší vzhledem k letokruhům a vláknům. Hodnota pevnosti dřeva v tahu ve směru vláken je v porovnání s ostatními vlastními pevnostmi dřeva nejvyšší. Těleso se při namáhání tahem porušuje roztrhnutím buněk v pracovní části tělesa. Velikost pevnosti v tahu podél vláken je dána především strukturou stěn buněk a jejich vláknitým tvarem [8]. Graf 3.1 zobrazuje závislost pevnosti dřeva na zatížení pod úhlem k vláknu v jednotkách.



Graf 3.1 – Závislost pevnosti dřeva na zatížení pod úhlem k vláknu [9]

Další vlastností dřeva je hygroskopie, neboli schopnost materiálu absorbovat vodu. Se změnou vlhkosti se mechanické vlastnosti dřeva mění, což v případě použití dřeva jako sportovního vybavení není vítanou vlastností. Se stoupající vlhkostí do meze hygroskopicity se snižují pevnostní a pružnostní vlastnosti dřeva. Zákonitosti vlivu vody vázané na mechanické vlastnosti sledujeme hlavně z důvodu užití dřeva pro konstrukční účely a technologického zpracování dřeva.

Během technologických procesů, mezi které patří například sušení nebo lisování, je dřevo vystaveno teplotním účinkům, které mechanické vlastnosti ovlivňují. S rostoucí teplotou se pevnost a pružnost dřeva snižuje. Vlivem nárůstu teploty do 70 °C dochází pouze k dočasnému snížení pevnosti a pružnosti, protože dojde k přechodné změně vnitřních energetických hladin, aniž dojde k porušení vzájemně rovnovážných poloh molekul. Vlivem vyšších teplot nad 100 °C vznikají ve dřevě změny trvalé [8].

Dřevo bylo prvním materiálem využívaným pro výrobu raket. Důvod použití dřeva při výrobě raket byla v historii jeho dostupnost a omezený výběr materiálů. Pro výrobu raket jak badmintonových, tak například tenisových nebylo dřevo příliš výhodné z několika důvodů. Zpracování dřeva bylo složité a zabíralo velké množství času, jelikož rakety byly vyráběny z jednoho kusu dřeva, proto byly rakety poměrně drahé. Hráči si stěžovali na hmotnost rakety, která byla příliš vysoká a hráči tak nebyli schopni dosáhnout vyšších rychlostí odpalu. Váha také bránila v plynulém pohybu hráče po kurtu a neumožňovala plně kontrolovat míček. Navzdory své váze nebylo dřevo dostatečně pevné a odolné jako například ocel nebo dnes používané karbonové vlákno. Hráče často trápila zranění kloubů, zejména pak vykloubená ramena, poraněná zápěstí nebo tenisový loket. Badminton byl dokonce mezi sporty s největším výskytem zranění, což přispělo k vývoji lehčích raket, které byly zprvu vyráběny z hliníku. V šedesátých letech dvacátého století se staly velmi populární rakety tvořeny dřevěným rámem a kovovou rukojetí. Tabulka 3.1 obsahuje velikost pevnosti vzhledem k hmotnosti materiálu, porovnávající mimo jiné karbonové vlákno a bukové dřevo, které patří k nejpevnějším druhům dřeva [10].

Materiál	$\text{kN}\cdot\text{m}\cdot\text{kg}^{-1}$
Karbonové vlákno	2457
Slitiny oceli	254
Slitiny hliníku	222
Bukové dřevo	87
Nylon	69

Tabulka 3.1 – Tabulka pevností materiálu vzhledem k hmotnosti [11]

Výplety raket byly původně tvořeny strunami z vnitřností zvířat. Přírodní vlákna dodnes poskytují nejlepší vlastnosti, ale od jejich používání se upouští z důvodu

vysoké ceny, navíc moderní syntetické výplety poskytují téměř stejné vlastnosti, jsou ale levnější a mnohem lépe odolávají poškození.

## 3.2 Hliník

Hliník neboli aluminium je stříbrobílý lehký kov. Hliník je nejrozšířenějším kovem na světě a zároveň třetím nejhojnějším prvkem s obsazením 8 % v zemské kůře. Přesto se jen zřídka vyskytuje v přírodě samostatně. Obvykle se vyskytuje v minerálech, jako je bauxit a kryolit. Tyto minerály jsou křemičitany hliníku. Díky svým vlastnostem jako jsou elektrická a tepelná vodivost, nízká měrná hmotnost a možnost rozmanitě upravovat povrch, je hliník všestranně použitelný ve spoustě odvětví, jako jsou například potravinářství, letectví, vesmírný průmysl a výroba sportovního nářadí.

Samostatný hliník je prvkem příliš lehkým a nedosahuje dostatečných vlastností pro použití jako konstrukční materiál, proto se pro výrobu používá jeho slitin, které svým poměrem pevnosti k hmotnosti několikanásobně převyšují dřevo a téměř dosahují poměru ocelových slitin, viz tabulka 3.1.

Pro výrobu slitin se používá hlavně křemík, měď nebo mangan. Výši napětí potřebnou k dosažení dané deformace materiálu určuje modul pružnosti v tahu, neboli Youngův modul., popsáný Hookovým zákonem, viz rovnice 3.1.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

*Rovnice 3.1 – Hookův zákon [12][13]*

$\sigma$  [Pa]...napětí

$E$  [Pa]...Youngův modul

$\varepsilon$ ... deformace

Hliníkové slitiny dosahují meze pružnosti v tahu asi 70 GPa, zatímco například bukové dřevo nabývá hodnoty pouhých 13 GPa a deformuje se při působení podstatně nižšího napětí, což potvrzuje pokrok ve vývoji při tvorbě badmintonových raket.

Slitiny hliníku se dělí do osmi základních skupin podle prvků, se kterými hliník slitinu tvoří, viz tabulka 3.2.

<b>Třída slitiny</b>	<b>Základní slitinotvorný prvek</b>	<b>Maximální pevnost v tahu [MPa]</b>	<b>Příklad použití</b>
<b>1xxx</b>	čistý hliník	186	fólie
<b>2xxx</b>	měď	427	letectví
<b>3xxx</b>	mangan	282	okapy, střešní krytiny
<b>4xxx</b>	křemík	379	svařovací materiál
<b>5xxx</b>	hořčík	351	plechy
<b>6xxx</b>	hořčík a křemík	400	konzervy
<b>7xxx</b>	zinek	600	sportovní vybavení
<b>8xxx</b>	ostatní materiály	-	letectví

*Tabulka 3.2 – Rozdělení slitin hliníku [14]*

První číslice (**Xxxx**) označuje hlavní slitinový prvek, který byl přidán do hliníku a často se používá k popisu série hliníkových slitin. Pokud je druhá číslice (**xXxx**) odlišná od nuly, označuje modifikaci konkrétní slitiny a třetí a čtvrtá číslice (**xxXX**) jsou libovolná čísla určená k identifikaci specifické slitiny v sérii.

Nejrozšířenější slitina je označena 6061, jedná se o materiál řadící se do šesté řady, kde se hliník slučuje hlavně s hořčíkem a křemíkem. Využívá se díky své široké dostupnosti i vhodným vlastnostem jako je pevnost, tuhost nebo vysoká korozivzdornost.

Pro výrobu sportovního vybavení jsou nejčastěji používány slitiny ze sedmé skupiny. Jedná se o slitiny obsahující zinek a to v poměru 0,8 % až 12 %. Tyto slitiny dosahují ze všech tříd slitiny hliníku nejvyšších hodnot pevnosti v tahu a používají se také při stavbě letadel nebo raketoplánů [14].

V sedmdesátých letech došlo k pokroku při výrobě sportovního vybavení. Při výrobě raket se přestalo používat dřevo, které bylo nahrazeno raketami tvořenými pouze kovy. Šlo především o rámy tvořené ocelí a hliníkem nebo slitinami hliníku, čímž se podstatně snížila hmotnost rakety. Poměr pevnosti k hmotnosti hliníku dosahuje několikanásobně vyšší hodnoty než u dřeva.

### 3.3 Uhlík

Uhlík je základním kamenem života na Zemi. Je součástí veškerých organických sloučenin a jako volný prvek se v přírodě vyskytuje ve dvou modifikacích – grafit a diamant. Ve velkém množství se vyskytuje na Zemi i ve vesmíru. Chemický průmysl produkuje značné množství výrobků na bázi uhlíku, se kterými se setkáváme v každodenním životě. Jde o plastické hmoty, léčiva, nátěrové hmoty nebo umělá vlákna. Uhlík je schopen tvořit velké množství molekul. V současnosti bylo popsáno již více než 20 milionů organických sloučenin [15].

#### 3.3.1 Karbonová vlákna

Dosud k největší revoluci ve výrobě raket, ale i dalšího sportovního vybavení došlo s příchodem karbonových vláken. Jedná se o dlouhý, tenký pramen materiálu o tloušťce mezi 0,005 – 0,010 mm, který je vyroben převážně z atomů uhlíku. Tyto atomy jsou k sobě vázány v mikroskopických krystalech, které jsou orientovány paralelně k podélné ose vlákna. Stavba těchto krystalů činí vlákno značně silné vzhledem k jeho velikosti. Karbonové vlákno se stalo populární díky svým vlastnostem, jako jsou vysoká pevnost, vysoká pružnost, chemická odolnost nebo velice nízká hmotnost. Cena karbonového vlákna je značně vyšší, pokud ji porovnáme s cenou skelného nebo plastového vlákna [16][17][18].

Karbonové vlákno bylo poprvé vytvořeno roku 1879 Thomasem Edisonem, kterému se podařilo upéct bavlněné nebo bambusové nitě při vysokých teplotách, díky čemuž materiál karbonizoval v uhlíková vlákna. V USA roku 1958 docílili vytvoření vláken obsahujících 20% uhlíku. Tyto vlákna však byly neefektivní s nízkou mírou pevnosti i tuhosti. K uvědomění si potenciálu karbonových vláken došlo v roce 1963 v Britském výzkumném centru po vytvoření nového výrobního procesu [19].

Výroba karbonových vláken je částečně chemickým a částečně mechanickým procesem. Dlouhé prameny vláken se zahřejí na velmi vysokou teplotu bez přístupu kyslíku, aby nedošlo ke spálení vláken. Nastává proces karbonizace, kdy atomy uhlíku silně vibrují a vylučují většinu neuhlíkových atomů. Vlákna zůstávají složena z dlouhých, těsně uzavřených řetězců atomů uhlíku, kde zbývá pouze minimum neuhlíkových atomů. Následuje proces grafitizace, který zvýší množství uhlíku až na 99%. Provádí se v inertní atmosféře při teplotách 2400 – 3000 °C. Po grafitizaci je dále možné provádět povrchové úpravy. Povrch vlákna se mírně oxiduje, kvůli lepšímu vázání epoxidů a dalších látek používaných při tvorbě kompozitu [16][17][18].

#### 3.3.2 Kompozit

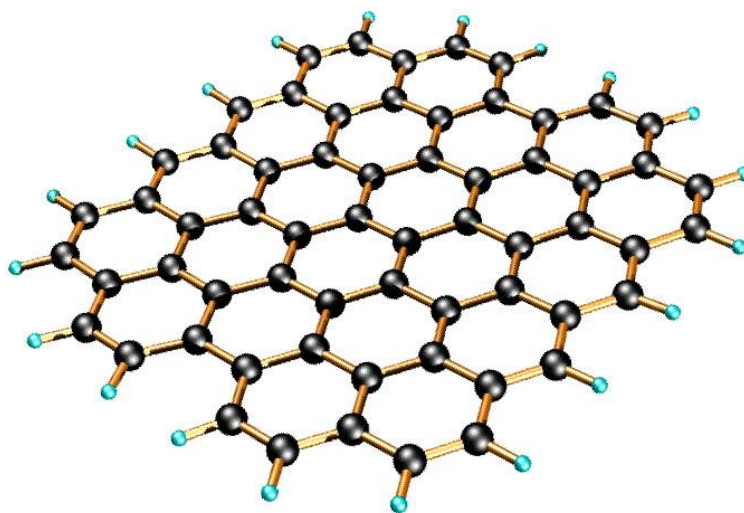
Karbonová vlákna se většinou kombinují s dalšími materiály a tvoří kompozity. Kompozity jsou materiály skládající se ze dvou nebo více složek, které mají výrazně odlišné fyzikální a chemické vlastnosti. Vláknové kompozity se skládají z matrice, která je tvořena plastem nebo pryskyřicí a z vyztužujícího vlákna. Jedna z hlavních

předností kompozitu je nízká hmotnost. Ve srovnání s ocelí má vyšší pevnost a zároveň nižší hustotu. Další značnou výhodou kompozitních materiálů spočívá ve výrobním procesu. Dochází k velkým úsporám díky menšímu množství odpadu. Kladením vrstev umožňují kompozity plynule měnit tloušťku a zjednodušují výrobu u složitých tvarů a povrchů.

V současnosti jsou karbonovým vláknem vyztužené kompozity nejpoužívanějším materiálem pro výrobu rámu badmintonové rakety, jelikož poskytují ideální vlastnosti, ke kterým patří nízká hmotnost, vysoká pevnost, vysoký modul pružnosti nebo vysoká odolnost. Na obrázku můžete vidět rozdělení materiálů dle jejich Youngových modulů na vodorovné ose a pevnosti v tahu na křivce svislé. Nejběžněji používaný materiál je typ s vysokým modulem pružnosti, které dosahují hodnot Youngova modulu mezi 350 – 600 GPa a Pevnosti v tahu asi 2,5 GPa [20][21].

### 3.3.3 Grafen

Při snaze výrobců inovovat se v souvislosti se stálým snižováním hmotnosti a zvyšováním pevnostních a pružnostních charakteristik rakety, dochází v současné době k využívání nanomateriálů. Jedním z těchto materiálů je také grafen. Tento materiál vyvinut v roce 2004, tvoří jediná tenká vrstva čistého uhlíku, těsně uspořádaná v šestiúhelníkové mřížce. Poprvé byl vytvořen pomocí odstraňování jednotlivých vrstev grafitu až po poslední vrstvu, která zbyla [22][23].



Obr. 3.1 Idealizovaná struktura grafenu [24]

Atomová tloušťka grafenu je pouhých 0,345 nm. Díky extrémně nízké výšce této vrstvy se o grafenu mluví jako o 2D materiálu, tedy bez třetího rozměru. Přesto se jedná o jeden z nejpevnějších materiálů, které zatím byly objeveny, s pevností dosahující 100-300 x vyšší hodnoty než ocel.

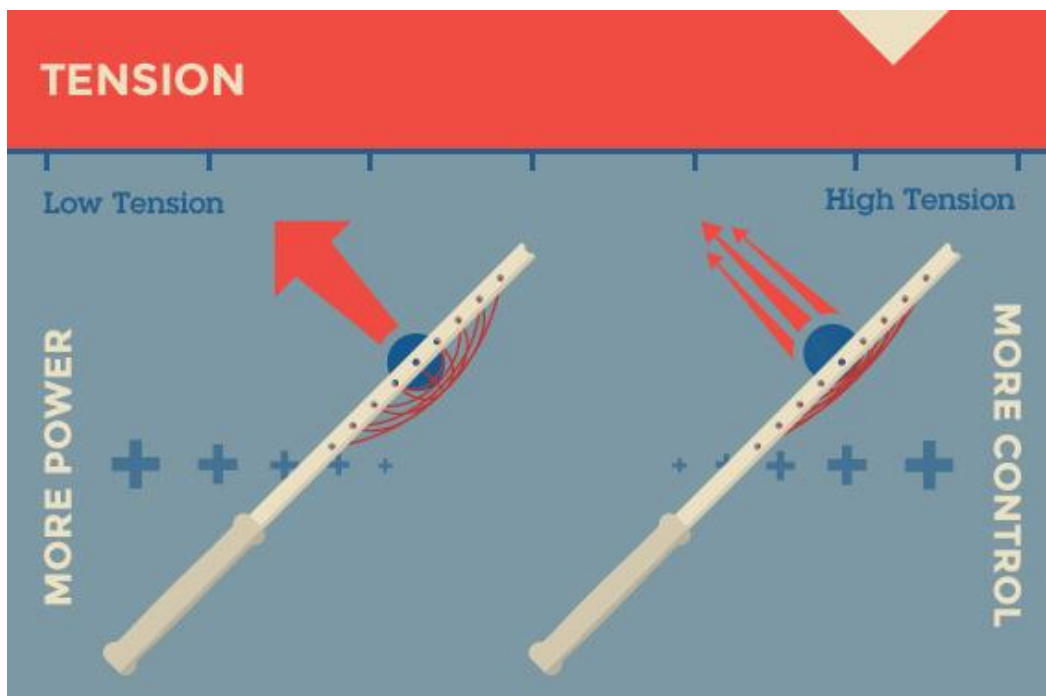
Nejvyšší pevnost v tahu může dosahovat až 130 GPa. I přes svou extrémně vysokou pevnost se jedná o jeden z nejlehčích materiálů, přičemž jeden metr čtverečný dosahuje hmotnosti 0,77 mg. Pro srovnání je to asi 1000x méně než běžný papír. Grafen má také výrazné elastické vlastnosti, kdy teoretická hodnota Youngova modulu pružnosti dosahuje až 2 TPa. Zároveň grafen výborně vede elektřinu i teplo. Výroba grafenu je obtížná a nákladná. V současnosti stále probíhá výzkum, jak co nejlépe a nejdostupněji uskutečnit výrobu ve velkých množstvích. Díky zmíněným vlastnostem se jedná o revoluční všestranně využitelný materiál. V blízké budoucnosti se očekává vytvoření kompozitů obsahujících grafe, které by byly využívány například jako náhrada oceli při stavbě letadel. Došlo by tak ke snížení váhy a zvýšení vzdálenosti doletu letadel. Při výrobě badmintonových raket se z důvodů dostupnosti v současnosti používá jen zřídka, ale s vysokou pravděpodobností patří mezi materiály, které budou s postupem času používány častěji a ve větším rozsahu [22][23][25].

## 4 Materiály výpletu rakety

### 4.1 Charakteristika

Výplet rakety vytváří prostor pro pružný odraz míčku od rakety. Struny jsou upínány ve směru vertikálním (hlavním) a ve směru horizontálním. Výplet je napínán do hlavy rakety pomocí otvorů rovnoměrně rozmístěných po rámu rakety. V minulosti vyplétání probíhalo ručně, ale tato metoda nebyla dostatečně přesná a napětí, na které mohly být struny nataženy, nebylo dostatečně velké. V současné době se rakety vyplétají pomocí strojů, pomocí kterých je dosaženo ostatečného napětí strun. Při obsluze strojů je často nutná lidská asistence.

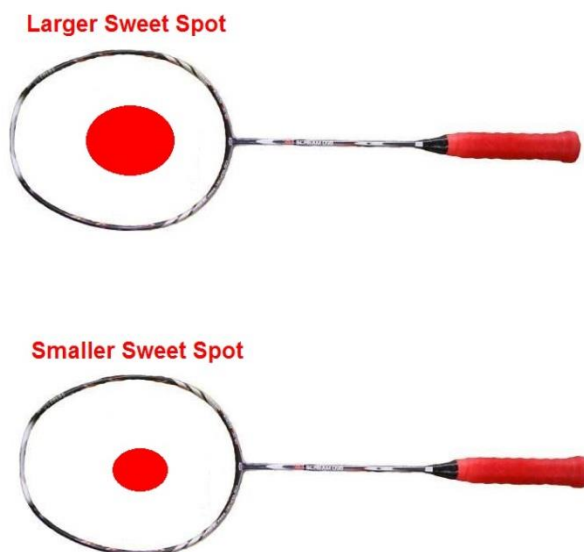
Velké množství energie při odpalu raketou se generuje právě při kontaktu výpletu s míčkem, přičemž nastává rapidní napnutí struny a odraz od vypleteného lůžka. Struny při nižším napětí vykazují vyšší odpor, což má za následek výraznější odraz a ráznější odpal. Z důvodu výrazného průhybu strun, dochází se snižujícím se napětím ke ztrátě kontroly směru a rotace odpalovaného projektilu. S větším průhybem strun dochází i k delšímu kontaktu výpletu s míčkem. Pokud je napnutí vyšší, odrazí se projektil v krátkém časovém úseku, kdy hráč pocítí pouze okamžik dotyku a nasměruje úhel rakety podle potřeby. Při větším průhybu raketa „nese“ projektil delší časový úsek a pro hráče je obtížné určit, kdy dojde k oddělení míčku od rakety [21][26][27][28].



Obrázek 4.1 - Prohnutí výpletu s nižším napětím strun (vlevo) a s vyšším napětím (vpravo) [30]



S nižším pnutím strun se navíc v místě výpletu rozšiřuje takzvaný „sweet spot“, neboli místo s nejideálnějšími parametry odpalu.



Obr. 4.2 Velikost „sweet spot“ při nižším napětí strun (nahore) a při vyšším napětí strun (dole) [28]

Dalším parametrem strun je jejich tloušťka neboli diametr. Tloušťka se měří na napnutých strunách v milimetrech. Výplet o menším průměru strun disponuje silnějším odrazem a výraznějším citem při kontaktu míčku s výpletem. Tenké struny se při kontaktu míčkem zařezávají hlouběji do korkové hlavičky, a proto hráč lépe kontroluje míček. Odpor vzduchu se zmenšuje zároveň s průměrem struny, proto je hráč schopen při odpalu vyvinout vyšší rychlost švihů. Jako negativní se jeví ztráta napětí ve strunách a nižší odolnost. Diametrálně mohutnější struny jsou naproti tomu odolnější, ale generují méně silný odraz. Běžný průměr badmintonové struny dosahuje mezi 0,6 – 0,9 mm [26][28].

Pro každého hráče subjektivně je důležité najít ideální kompromis mezi silou a přesností na základě jeho schopností a zkušeností. Pro začínající hráče je vhodné používat nylonové struny s nižším parametrem i napětím, pro vyvinutí dostatečné síly odpalu i jeho přesnosti.

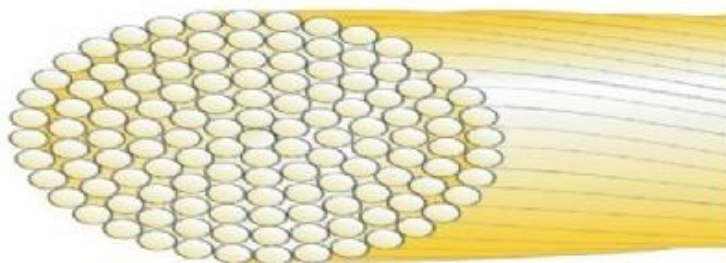
Jelikož při vývoji prvních raket nebyly známy syntetické materiály, muselo být použito materiálů organických. První struny použité k výpletu raket byly vyráběny z ovčích nebo kravských střívek, případně bavlny. Po vynálezu nylonu v roce 1939 se začaly velice rychle rozmáhat syntetické výplety. Byly levnější, pevnější a odolnější, navíc oproti organickým nebyly schopny absorbovat vodu, která ve střívkách způsobovala snížení napnutí strun. Nylonový výplet neumožňoval cítit míček na výpletu ve stejné míře jako organický a částečně se snížila i jeho pružnost.

Syntetické struny oproti původním byly mnohem tenčí. V současnosti se při výrobě používají také novodobé materiály jako kevlar, vectran nebo zyex.

## 4.2 Organický výplet

Struny vyrobené z organických materiálů byly v historii všestranně používány například pro hudební nástroje nebo tětiny luků. Materiál se získává jako vedlejší produkt masného průmyslu. Živočišné střevo je nejvíce odolný materiál používaný k výrobě raketových sportovních strun. Dokáže nejlépe zadržet napětí a zároveň dosahuje vyšší měkkosti než jakýkoli jiný materiál. Dodnes nebyly kvality jako hrátelnost, cit míčku nebo síla odpalu překonány žádným syntetickým materiálem, přestože prémioví výrobci se vlastností ovčích nebo kravských střev blíží. Cena takovýchto výpletů je pro většinu hráčů příliš vysoká, i proto se dnes organické výplety vyskytují u sportovců jen ojediněle. Jako příklad výrobce můžeme uvést firmu Babolat, jejíž proces výroby jedné sady živočišných strun zabere asi 60 dnů.

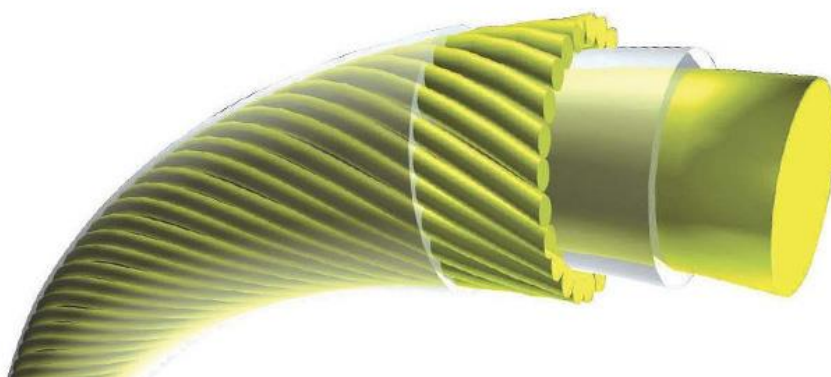
Vnější vrstva střívka je tvořena serózou, což je tenká lesklá brána, která vystýlá některé tělesné dutiny jako hrudní nebo břišní. Seróza se skládá z proteinu, který se nazývá kolagen. Vlákná kolagenu mohou být v membráně vysoce orientována i směřována náhodně. Orientovaná vlákna disponují vysokou pevností v tahu, naproti tomu náhodná vlákna přispívají k pružnosti blány. Tyto vlákna jsou tvořeny vysokým množstvím molekul. Skutečná molekula kolagenu je tvořena trojitou šroubovicí, jež zodpovídá za elasticitu a působí jako tlumič nárazů. Díky své roli v procesu trávení se hovězí střevo vyvinulo do struktury, která je navržena tak, aby vydržela celý život zvířete. Je třeba, aby tato struktura byla silná, flexibilní a zaručovala vysokou trvanlivost. Tyto požadavky jsou kladeny také na výplety badmintonových raket. Různé druhy i plemena zvířete mohou mít různou kompozici střev, proto jsou pro výrobce zavedeny normy ohledně plemene, pohlaví a věku hovězího masa, ze kterého je střevo získáváno, stejně tak jako o místech, kde může být dobytek chován. Jedná se pouze o jednu z mnoha kontrol, které jsou zavedeny během procesu výroby [26][27][29].



Obr. 4.3 Struktura struny z ovčího střívka [31]

## 4.3 Monofilamenty

Jednovláknové struny jsou tvořeny jedním, pevným, vytlačovaným materiálem. Původním základem těchto strun byl nylon, který je v současnosti nahrazován polyesterem, polyéterem nebo dalšími materiály. Často bývají monofilamenty kombinovány s jinými, méně tvrdými typy strun, což tvoří kompromis mezi trvanlivostí a hratelností. Tento typ strun hůře tlumí nárazy a přenáší tak silnější šok do rukojeti rakety [27][29].



Obr. 4.4 Monofilament s ochrannými vrstvami [32]

## 4.4 Multifilament

Materiály s více vlákny neobsahují konkrétní středové vlákno. Jádrem je tvořeno stovkami až tisíci pramenů, které jsou zkrouceny k sobě. Obvykle obsahují vnější vrstvu z důvodu vyšší ochrany. mnohovláknové jádro struny se svými vlastnostmi nejvíce přibližuje vlastnostem, kterými disponují organické výplety. Vykazují mnohem vyšší tlumení rázů, jsou méně tvrdé a poskytují silnější cit s míčkem [27][29].



Obr. 4.5 Multifilament s ochrannými vrstvami [33]

Konstrukce strun se dále dělí podle vrstev, které jádro struny ochraňuje, případně může být použita kombinace mnohovláknové a jednovláknové konstrukce a vytvořen hybrid. Častým případem použití může být vertikální vypletení monofilamentem a použití méně tvrdého materiálu s více vlákny pro vypletení horizontálně [27][29].

## 4.5 Syntetické materiály

### 4.5.1 Nylon

Nylon je nejpopulárnější materiál pro výplety raket a to zejména mezi amatérskými hráči. Jeho dostupnost a vlastnosti, které poskytují mnohovláknové struny činí nylon dostačující náhražkou organických výpletů. Jedná se o syntetický polymer, konkrétně polyamid, který je tvořen opakujícími se amidovými skupinami, vázanými peptidovými vazbami. Obsahují uhlíkové, kyslíkové, dusíkové a vodíkové prvky. Poprvé byl nylon použit v roce 1938 při výrobě štětín zubního kartáčku. O rok později byl představen jako tkanina a začal se hojně využívat v textilním průmyslu. Původní využití nylonu mělo být nahrazení hedvábí, kterého bylo během druhé světové války nedostatek. Z nylonu se vyráběly padáky nebo vesty. Polymery nylonu mohou být vázány s širokým množstvím aditiv pro vznik mnoha variací vlastností. Vlastnosti jako vysoký poměr pevnosti k váze, flexibilita a odolnost, vyhovují vlastnostem, které jsou při výrobě výpletů požadovány [34].

### 4.5.2 Polyester

Polyester patří mezi syntetická vlákna. Díky svým univerzálním vlastnostem se stal populárním v padesátých letech dvacátého století a v současnosti patří mezi nepoužívanější syntetické materiály především v oděvním průmyslu. Nejběžnější polyester je vytvářen ze syntetizovaného polymeru polyethylentereftalátu (PET), což je stejný materiál, který se používá pro výrobu plastových lahví. Jedná se o tvrdý, tuhý, pevný materiál, jenž je rozměrově stabilní. Polyesterové struny dosahují velmi dlouhých životností, ale jejich významnou nevýhodou je rychlá ztráta napětí výpletu, proto i přes jejich odolnost dochází k jejich časté výměně. Polyesterová vlákna se řadí mezi monofilamenty a momentálně na trhu zastupují nízké procento. K jejich popularitě by přispělo vyřešení problému se ztrátou napětí a nízkou mírou pružnosti [35].

### 4.5.3 Kevlar

Kevlar je nejrozšířenějším a nejpopulárnějším materiálem řazeným mezi aramidová vlákna. Pojmenování Kevlar® je obchodní název společnosti DuPont, který byl firmou patentován na začátku 70. let. Aramidová vlákna jsou uměle vyrobená vysoce výkonná vlákna s molekulami, které jsou charakterizovány polymerními řetězci.

Tyto molekuly jsou spojeny silnými vodíkovými vazbami, které velmi účinně přenášejí mechanické namáhání, což umožňuje použití řetězců s relativně nízkou molekulovou hmotností. Označení aramid vzniklo spojením slov aromatický polyamid. Aramidové vlákno je definováno jako vlákno vyrobené z polyamidu s dlouhým uhlovodíkovým řetězcem, jehož alespoň 85% peptidických vazeb spojuje dvě aromatická jádra. Kevlar vyniká unikátní kombinací vysoké pevnosti, vysokého modulu pružnosti, tuhosti a tepelné odolnosti. Tvoří nejpevnější a nejtrvanlivější syntetické struny na trhu a je extrémně odolný vůči jejich lámání.

Přestože jde o jeden z nejkvalitnějších materiálů, co se týče udržení napětí, kombinuje se Kevlar často s jiným druhem řetězce, jako například nylon. Samostatně se jedná o materiál příliš tuhý, zvláště pokud je kombinovaný s tuhým rámem rakety. Je možné pevnost snížit při užším rozchodu strun, nebo natahování Kevlaru na nižší napětí. Kromě sportovního vybavení se z Kevlaru vyrábějí například části brzd a podvozků, neprůstřelné vesty, těsnění, izolace nebo přilby [36][37][38].

## 5 Ostatní materiály

### 5.1 Omotávka

Omotávka původně na badmintonových raketách neexistovala. Rakety vyrobené ze dřeva měly pouze rozšířenou rukojeť, která byla také dřevěná. Tato rukojeť mohla být při delším používání v ruce nepříjemná, navíc dřevo absorbovalo pot. V dnešní době se jako materiál omotávky rakety nejčastěji používají polyuretany, někteří hráči volí froté obaly rukojetí.

Polyuretany patří mezi největší třídy polymerů, které mají vlastnosti umožňující velké množství aplikací v širokém rozmezí. Vlastnosti polyuretanů se mohou velmi lišit. Mohou být přizpůsobeny tak, aby měly vysokou pevnost, flexibilitu, houževnatost a nízkou tepelnou vodivost. Většina uretanů má také dobrou odolnost vůči oleji, (aromatickým) uhlovodíkům, kyslíku a ozonu. Vzhledem k tomu, že pro výrobu polyuretanu lze použít široký rozsah sloučenin, lze vyrobit široké spektrum materiálů s vlastnostmi potřebnými podle aplikace. Záběr aplikace polyuretanů se stále rozšiřuje, dnes se s nimi můžeme setkat například při tvorbě matrací, lepidel, funkčního oblečení, částí karoserie aut nebo podrážek bot [39].

Další variantou jsou bavlněné omotávky, případně je materiálem kombinace bavlny a polyesteru. Tyto omotávky výborně sají pot, ale rychle se ničí a často musí být měněny.

### 5.2 Míček

První standardizovaný míček byl vytvořen začátkem dvacátého století ve Francii. Jeho tvar byl spíše válcovitý (soudkovitý) a byl tvořen brky z kuřat, které byly pomocí lepidel připevňovány do hlavičky. Letové vlastnosti těchto projektilů byly ale příliš nepředvídatelné, proto nebyly vhodné pro soutěžní použití. Žádný míček navíc neměl zcela stejné rozměry a tvar, proto se tvar a délka trajektorie značně lišily. Kuřecí brka jsou navíc velmi křehká, životnost byla proto velmi krátká. Po několika experimentech se nakonec přistoupilo na brka husí, která jsou silnější a jejich letové vlastnosti jsou mnohem stabilnější [40].

### 5.3 Povrch kurtu

Povrch badmintonového kurtu je nejzásadnějším faktorem, který ovlivňuje hráče při pohybu. Požadavky kladené na podlahu kurtu jsou zejména tlumení rázu, dostatečná pružnost a protiskluzové vlastnosti materiálu.

Moderní materiály jsou vyráběny z PVC nebo polyuretanu. Jsou pokládány na podlahu ve formě linolea, které obsahuje několik vrstev. Spodní vrstvy z PVC pěny absorbují šoky a poskytují pružnost povrchu, střední vrstvy dodávají stabilitu a vnější vrstvy zajišťují ochranu proti skluzu a vysokou odolnost proti opotřebení [41].

Dřevěné podlahy dostatečně tlumí rázy a poskytují vhodný odraz. Nevýhodou je kluzkost povrchů, zvláště potom při kontaktu s kapalinou.

Nejpoužívanější variantou se stala kombinace těchto dvou povrchů, kdy se PVC povrch pokládá na dřevěnou podlahu, této varianty je využíváno na oficiálních turnajích federace i při olympijských hrách [41].

## 6 Očekávaný vývoj

Ve výrobě badmintonových raket došlo během posledních několika desítek let k výraznému pokroku v oblasti využití materiálů. Ani po ústupu od dřevěných konstrukcí a přechodu k výrobě rámu z lehkých kovů nedošlo ke zpomalení pokroku. S využitím karbonových vláken byly vyvinuty rakety s výrazně sníženou hmotností a zvýšenými pevnostními a pružnostními charakteristikami materiálu rámu. Budoucnost badmintonu s velkou pravděpodobností směřuje k rozsáhlejšímu využití nanotechnologií, které jsou již dnes zapojovány do procesu výroby, navzdory své vysoké ceně a složitosti výrobního procesu.

Inovace sportovního náradí stále zvyšuje výkony sportovců a snižuje riziko jejich zranění, což se kladně projevuje v nárůstu popularity sportů jak pro hráče, tak pro sportovní fanoušky. Svět konkurenčního sportu je ovlivňován i drobnými změnami, které mohou být v konečném důsledku otázkou vítězství nebo prohry. Popularita průmyslového sportovního vybavení značně stoupá také díky šampionátům světové úrovně, jako jsou olympijské hry a světové poháry. Tento průmysl se tak stává lukrativní obchodní příležitostí jak pro veřejné, tak i pro soukromé investory.

Nanotechnologie, jakožto inovace ve vědě o materiálech, výrazně ovlivňuje stupeň konkurenceschopnosti ve sportu. V oblasti sportovní výbavy poskytuje nanotechnologie řadu výhod a také obrovský potenciál ke zlepšení sportovních zařízení, která umožňují sportovcům kvalitní a bezpečný trénink. Badmintonové a tenisové rakety, baseballové pálky, hokejky, závodní jízdní kola, golfové míče, lyže, rybářské pruty nebo šipky pro lukostřelbu jsou pouze zlomkem sportovní výbavy, jejíž výkon a trvanlivost se pomocí nanotechnologie zvyšují. Budoucí vývoj raketového výpletu bude pravděpodobně směřovat k překonání vlastností ovčího střívka za použití syntetických materiálů. Totéž platí pro badmintonový míček, jehož originál vyrobený z husích brk, by měl být v budoucnu nahrazen syntetickým projektillem, se stejnými letovými vlastnostmi.



## 7 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo pojednat o materiálech používaných pro výrobu herního náčiní na badminton. V úvodu práce byly pro snazší pochopení materiálových požadavků vysvětleny principy hry a popsány jednotlivé části badmintonové výbavy, zejména pak badmintonová raketa. Dále byl shrnut historický vývoj hry a s ním spojený vývoj konstrukce a vývoj materiálů badmintonových raket. Zvláštní pozornost byla věnována hlavně moderní podobě hry, jako vrcholového olympijského sportu.

Ve druhé kapitole byly popsány materiály používané pro výrobu rámu rakety. Byl zdůvodněn přechod od dřevěných přes hliníkové rakety, až k dnešní podobě kompozitových raket z karbonových vláken. Mezi jejich hlavní výhody patří nízká hmotnost a vysoká pevnost, pružnost a odolnost.

V neposlední řadě byly také srovnány materiály užívané pro výplet, tedy struny organického a syntetického původu. Ačkoliv kvality strun ze zvířecích střívek nebyly dosud překonány, pro jejich vysokou cenu jsou dnes běžně nahrazována vytlačovanými vláknovými konstrukcemi, nylonem a dalšími syntetickými materiály. Krátká pasáž byla věnována také parametrům míčku a vlastnostem omotávky a hracího povrchu.

V páté kapitole byla načrtnuta úvaha o možném dalším směřování vývoje sportovní výbavy pro badminton. Lze očekávat, že další pokrok se bude orientovat směrem k širšímu využití nanotechnologií.

## Seznam použité literatury

- [1] History of Badminton. *SportsKnowHow.com* [online]. Internet Marketing Unlimited [cit. 2017-02-21]. Dostupné z:  
<http://www.sportsknowhow.com/badminton/history/badminton-history.shtml>
- [2] Badminton history. *Topendsports* [online]. 2008 [cit. 2017-02-21]. Dostupné z:  
<http://www.topendsports.com/sport/badminton/history.htm>
- [3] Badminton equipment and history. *Olympic* [online]. [cit. 2017-02-21]. Dostupné z:  
<https://www.olympic.org/badminton-equipment-and-history>
- [4] *Pinterest* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z:  
<https://www.pinterest.com/pin/51439620717136532/>
- [5] *Bechlomannia* [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z:  
<http://bechlomannia.mypage.cz/menu/pravidla>
- [6] *Badminton Shuttle* [online]. [cit. 2017-02-26]. Dostupné z:  
<https://www.indiamart.com/proddetail/badminton-shuttle-11325493697.html>
- [7] Sports kings. *Static* [online]. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z:  
<https://static.daraz.pk/p/sports-kings-7431-4818356-2-zoom.jpg>
- [8] Mechanické vlastnosti dřeva. *Is.Mendelu* [online]. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z:  
[https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz\\_cast.pl?cast=9190](https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=9190)
- [9] Wood strength. *Worldwideflood* [online]. [cit. 2017-05-12]. Dostupné z:  
[http://worldwideflood.com/ark/design\\_calculations/wood\\_strength.htm](http://worldwideflood.com/ark/design_calculations/wood_strength.htm)
- [10] NASRUDDIN, Fakhrizal Azmy et al. *Finite element analysis on badminton racket design parameters* [online]. Springer, 2015 [cit. 2017-02-21]. ISBN 9783319217345.
- [11] Hitech. *Hi5ber* [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z:  
<http://www.hi5ber.com/hitech>
- [12] Aluminium - Specifications, Properties, Classifications and Classes, Supplier Data. *Azom* [online]. 2005 [cit. 2017-02-25]. Dostupné z:  
<http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=2863>
- [13] Aluminium. *Royal society of chemistry* [online]. Cobham [cit. 2017-02-25]. Dostupné z: <http://www.rsc.org/periodic-table/element/13/aluminium>
- [14] Understanding the Aluminum Alloy Designation System. *Esabna* [online]. 2014 [cit. 2017-02-25]. Dostupné z:  
<http://www.esabna.com/us/en/education/blog/understanding-the-aluminum-alloy-designation-system.cfm>

- [15] Carbon. *RSC* [online]. [cit. 2017-03-06]. Dostupné z: <http://www.rsc.org/periodic-table/element/6/carbon>
- [16] Carbon Fibre. *Zoltek* [online]. [cit. 2017-02-25]. Dostupné z: <http://zoltek.com/carbonfiber/>
- [17] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu. II.2 opr. a rozš.vyd.* Brno: CERM, 2002. ISBN 80-7204-248-3.
- [18] KUCHLER, Karel. Karbon. *VELO*. 2009, (2), 1-3.
- [19] What is carbon fiber. *Innovativecomposite* [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.innovativecomposite.com/what-is-carbon-fiber/>
- [20] Všeobecný a základní popis materiálů používaných při výrobě kompozitů. [online]. 2005 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: 1. <http://www.havelcomposites.com/clanky/4-Technologie/74-Vseobecny-a-zakladni-popis-materialupouzivanych-pri-vyrobe-kompozitu.htm>
- [21] KOŘÍNEK, Zdeněk. *Matrice* [online]. [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: [https://drive.google.com/file/d/0B8vQSuH1vI\\_vckxkMGhoMjYtbWs/view](https://drive.google.com/file/d/0B8vQSuH1vI_vckxkMGhoMjYtbWs/view)
- [22] What is Graphene. *Graphene-info* [online]. 2017 [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: <https://www.graphene-info.com/introduction>
- [23] Graphene. *Graphenea* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: <https://www.graphenea.com/pages/graphene#.WSdT-evyjlV>
- [24] Cnx [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <https://cnx.org/contents/eQus82US@4/Graphene>
- [25] Graphene Applications & Uses. *Graphenea* [online]. [cit. 2017-02-08]. Dostupné z: <https://www.graphenea.com/pages/graphene-properties#.WSdTWevyjlV>
- [26] Matching String Gauge And Tension. *Ashawayusa* [online]. [cit. 2017-02-25]. Dostupné z: <http://www.ashawayusa.com/BadmintonTip3.php>
- [27] Strings. *Badmintonstrings* [online]. Ely (Cambridgeshire) [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: <http://www.badmintonstrings.co.uk/strings/index.php#GAUGE>
- [28] Badminton stringing advice. *Masterbadminton* [online]. [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: <https://www.masterbadminton.com/badminton-stringing.html>
- [29] RAVEN, Greg. How Synthetic Strings Are Made. *TI Magazine* [online]. 2011, (3) [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: [http://www.tennisindustrymag.com/articles/2011/03/how\\_synthetic\\_strings\\_are\\_made.html](http://www.tennisindustrymag.com/articles/2011/03/how_synthetic_strings_are_made.html)

- [30] *Tennis-warehouse* [online]. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://blog.tennis-warehouse.com/wp-content/uploads/2014/10/SE-04-Tension.jpg>
- [31] *Xtennisstrings* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.xtennisstrings.com/shop/14-category/09-natural-gut.jpg>
- [32] *Tennis companion* [online]. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.tenniscompanion.org/wp-content/uploads/2013/11/tennis-string-with-solid-core-outer-wraps.jpg>
- [33] Saiten. In: *Tennisshops* [online]. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.tennisshops.de/images/Saiten/07sence.jpg>
- [34] Properties Nylon. *Sciencing* [online]. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://sciencing.com/properties-nylon-4672907.html>
- [35] Polyamides. *Polymerdatabase* [online]. [cit. 2017-02-25]. Dostupné z: <http://polymerdatabase.com/polymer%20classes/Polyamide%20type.html>
- [36] Kevlar technical guide. *Dupont* [online]. [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: [http://www.dupont.com/content/dam/dupont/products-and-services/fabrics-fibers-and-nonwovens/fibers/documents/Kevlar\\_Technical\\_Guide.pdf](http://www.dupont.com/content/dam/dupont/products-and-services/fabrics-fibers-and-nonwovens/fibers/documents/Kevlar_Technical_Guide.pdf)
- [37] History of kevlar. *Safeguardclothing* [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <https://www.safeguardclothing.com/articles/the-history-of-kevlar/>
- [38] Specifikace materiálu: Kevlar. *Odetka* [online]. [cit. 2017-02-19]. Dostupné z: [http://www.odetka.cz/net20/cz/hitech\\_snury\\_specmat\\_kevlar.aspx](http://www.odetka.cz/net20/cz/hitech_snury_specmat_kevlar.aspx)
- [39] Polyurethane. *Polymerdatabase* [online]. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://polymerdatabase.com/polymer%20classes/Polyurethane%20type.html>
- [40] Rise of the shuttlecock. *Thestranger* [online]. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.thestranger.com/seattle/the-rise-of-the-shuttlecock/Content?oid=17330068>
- [41] Comparison of various types of wood. *Victorsport* [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.victorsport.com/badmintonaz/1322>